

'96 추계 학술 발표회 논문집

한 국 원 자 력 학 회

Cf-252를 이용한 함수량측정 계기개발

전 태 훈, 이 석 근, 황 주 호
경희대학교

권 정 광, 전 홍 배, 양 세 학
(주) 도화종합기술공사

요 약

기술적으로는 다짐장비의 개선으로 성토다짐의 시공속도가 매우 빨라지고 있으나 국내에서 적용하고 있는 현장다짐 밀도 및 수분함량 측정 방법(KS F 2311 KS F 2306)⁽¹⁾은 신속한 측정을 어렵게 하고 있다. 본 연구는 외국에서 개발 현재 활발히 적용되고있는 방사성동위원소를 이용한 함수량측정기개발의 시작단계로 기본설계 결정을 목적으로 한다.

함수량 측정 RI계기의 원리를 먼저 살펴본 후 실험실 내에서 자연건조된 성토용 흙으로 다짐을 하여 공시체를 제작한 뒤, 실험실용 함수량측정 RI계기를 공시체위에 놓고 폴리에틸렌과 중성자 검출기의 개수를 변화시켜가며 일정시간동안 측정개수를 측정한 값을 분석한 결과 목표측정시간을 1분으로 하였을 때 신뢰측정개수인 10,000개 이상을 계측하면서도 경제적으로 최소인 중성자검출기의 개수는 2개, 폴리에틸렌의 두께는 7cm로 결정되었다.

1. 서론

이미 미국은 성토관리용 RI계기의 도로, 댐, 공항 등 각종 건설 시공현장에서의 활용이 보편화 되어 ASTM, AASHTO⁽²⁾⁽³⁾ 등에서 RI계기의 보정 및 시험절차를 제정하여 적용하고 있으며, 일본은 1960년대에 연구를 시작하여 1987년에 표준다짐관리법을 승인 시행하고 있다.

이에 향후 제작하게될 상업용 RI계기의 개발에 앞서 본 연구에서 제작되어진 실험실내에서 사용되는 실험실용 함수량측정 RI계기를 제작하여 상업용 RI계기의 제작가능성의 평가와 보다 경제적인 RI계기의 제작설계를 제안하는 것이 본 연구의 주목적이다.

2. 본론

2.1 함수량측정 RI계기의 원리⁽⁴⁾

중성자선원으로 Cf-252사용하는데 이 선원으로부터 **훅** 중에 방출된 속중성자는 **훅**을 구성하는 원소의 원자핵과 주로 탄성산란을 일으킨다. 이때 자신의 운동에너지는 원자와의 충돌들에 의해서 점차 손실되며 주변의 원자와 열적 평형상태에 달할 때 더 이상 에너지의 손실은 발생하지 않는다. 이와 같이 주위의 원자핵들과 열적 평형을 이루는 중성자를 열중성자라 부르고 열중성자는 기체분자와 유사한 에너지 스펙트럼을 가지고 있으며 평균에너지 0.0253eV, 속도 2200m/sec이다. 한 번의 충돌로 중성자가 잃어버린 에너지의 양은 충돌 원자핵의 질량이 작을수록 크고 가장 가벼운 수소 원자핵과의 충돌에 의해서 잃어버리는 에너지가 최대가 된다. 이것은 수소의 감속능이 다른 원소에 비해서 현저하게 크다는 것이다. 따라서 **훅**중에 생성된 열중성자속은 수소농도의 해 지배되며 **훅**중의 수소농도는 함수량에 대응하기 때문에 열중성자량을 검출하는 것에 의해서 **훅**의 함수량을 간접적으로 인지할 수 있다. 이와 같이 수분량 측정 RI계기는 속중성자의 감속에 대해서 수소가 그 외의 원소보다 현저하게 효과적이라는 것에 착안해서 속중성자 선원과 열중성자 검출기를 조합해서 열중성자를 측정하고 그 측정값을 교정식을 통하여 함수량을 구하는 장치라고 할 수 있다.

수분측정기는 2가지 형식이 사용되고 있다. <그림 1>의 ㉓는 후방산란형 또는 열중성자 검출 방식이라고 불려지는 것으로 중성자 선원과 열중성자 검출기를 비교적 근접 배치해서 **훅**중의 열중성자량을 직접 검출하는 방법이다. <그림 1>의 ㉔는 직접전달형 혹은 속중성자 검출방식이라고 불리는 것으로 **훅** 중에서 열중성자로 되지 않은 상태에서 지표면으로 투과해오는 에너지가 높은 중성자속을 검출하는 방법이다.

본 연구에서는 직접전달형을 채택하여 사용하는데 이는 낮은 레벨의 선원으로 충분한 측정정도가 얻어지기 때문이다.

2.2. 실험실용 함수량측정 RI계기 및 성토다짐 실험장치

실험실용 함수량측정 RI계기는 중성자검출기인 He-3 검출기를 기본으로 열중성자를 계측하는 것으로 구성되어있으며 구성도는 아래 <그림 2>과 같다.

또한 실험실에서 공시체 제작에 쓰일 **훅**을 담은 몰드는 <그림 3>과 같이 제작되어졌는데 반경 30cm로 이는 기존의 RI계기로 측정되어진 영향범위가 30cm이하이기 때문이며⁽⁶⁾ **훅**을 다지는 램머는 KS F 2312(**훅**의 다짐시험법)에 의거 <그림 4>과 같이 제작되어져 있으며 재질은 철재이다.

2.3. 중성자 선원, 열중성자 흡수재, 감속재

중성자선원으로는 자발핵분열을 하는 Cf-252를 사용하였으며, Activity는 약 25 μ Ci이다.

본 연구에서는 수분측정방식을 직접전달방식을 선택하였으므로 속중성자선원으로부터 방출된 속중성자가 매질인 **훅**을 통과하여 만들어진 열중성자를 열중성자검출기에 도달하기 이전에 제거되어야 한다. **훅**속에서 생성된 열중성자를 효과적으로 제거하기 위해서는 열중성자 흡수단면적이 높은 물질을 사용하여야 한다. 열중성자 흡수단면적이 높은 물질중 Cd이 매우 높은 값을 가지므로 본 연구에서는 열중성자 흡수재물질로 Cd을 선택하였으며, Cd의 두께는 1mm를 사용하였다.

Cd을 통과한 속중성자를 열중성자검출기로 검출하기 위해서는 강제적으로 속중성자를 감속시켜야 한다. 속중성자 감속물질로는 속중성자감속능력이 뛰어난 수소원소를 함유하는 물질을 사용하는 것이 효과적이다. 수소의 밀도가 높은 물질로는 파라핀과 폴리에틸렌을 들 수 있으며 폴리에틸렌이 파라핀에 비하여 수소의 밀도가 약간 높은 값을 가지고 있으므로 폴리에틸렌을 감속재로 선택하여 사용하였다.

아래 <그림 5>에 중성자 검출기, 열중성자 흡수재, 감속재를 그림으로 나타낸 것이다.

2.4. 공시체 제작 및 함수량측정 실험과정

몰드와 램머 흡등을 사용하여 함수량 및 습윤밀도를 측정하기 위한 공시체제작 및 실험용 RI계기를 이용한 함수량, 습윤밀도측정실험방법을 기술한다.

다음의 차례에 의하여 공시체를 제작하여 함수량 측정실험을 한다.

- 흙을 건조시켜 기준 함수율로 만든다. (예로 8%의 함수율)
- 건조가 완료되었으면 3등분하여 각 3곳에서의 시료를 채취하여 수분량을 측정, 이 값을 평균하여 함수율로 사용한다. 그러므로 각 시료당 100g씩 9개의 시료이므로 0.9kg의 시료가 공시체별로 필요로 한다. 그리고 공시체가 5개가 제작되므로 총 4.5kg의 흙이 필요로 하게 된다.
- 목표함수율을 설정한다.
 - 가령 약 2%증가의 함수율로 8%, 10%, 13%, 15%, 18%을 실험 목표 함수율로 정한다.
- 시작함수율(8%)의 흙을 몰드에 약 8cm넘게 간후 램머로 약 150회정도 다진다. 이때 골고루 다지기 위하여 램머의 밀판을 지름 20cm짜리로 사용한다.
 - (이 다짐층을 1층이라하자.)
- 1층위에 다시 흙을 8cm이상간후 위와 같은 방법으로 다진다. 이 과정을 되풀이하여 총 5층의 높이 40cm흙을 다져서 공시체를 제작한다.
- 제작된 공시체위에 실험실용 RI계기를 놓고 계수율을 측정한다.
- RI측정후 상부3개소, 가운데3개소, 하부3개소등 9곳에서의 함수율측정을 위한 시료를 채취한다. 그러므로 각 개소당 100g씩 약 0.9kg의 흙이 필요로 하므로 시료당 공시체의 제작 개수가 5개라고 하면 4.5kg정도의 흙이 더 필요로 하게 되는 것이다.
- RI측정이 끝났으면 다음 목표함수율로 함수율을 높여야 하므로 시료를 다시 넓게 펼친후 실험완료된 공시체의 무게에 0.02를 곱한 약 4kg정도의 물을 뿌려 목표함수율(10%)로 만든다.
- 위에서 하였던 공시체 제작 및 RI측정을 다시 한 번하고 난 뒤 역시 함수율을 13%, 15%, 18%등으로 올라가며 각 단계별로 RI측정을 한다.

2.5. 중성자 검출 범위의 결정실험

위에서 기술되어져있는 순서대로 공시체를 제작한 후 실험실용 RI계기로 중성자를 검출하는 실험을 하였다. 채취한 성토용 흙이 너무 건조되어져 있는 상태라서 함수율이 생각하였던 정도보다 많이 낮은 2.24%정도 밖에는 되지않다. 따라서 함수율의 증가단계를 3%로 정한 뒤 물을 뿌려 함수율을 높여가며 실험을 하였다.

먼저 중성자 검출기와 폴리에틸렌의 두께를 고정시킨 후 함수율을 증가시켜가며 중성자의 개

수를 측정하였다. SCA의 에너지폭을 변화시켜가며 각 에너지 단계별 측정수를 아래 <그림 6>에 나타내었다. (중성자검출기의 개수는 2개, 폴리에틸렌의 두께는 7cm이다.)

그림에서 보듯이 함수율이 변하더라도 에너지단계별 중성자측정개수의 변화경향이 일정한 것을 볼 수 있다. 따라서 가장 계측이 많이 되는 어느 일정구간을 결정한 후 이 구간의 중성자를 계측하는 것이 효과적인 중성자계측방법이다. 따라서 2.5V에서 5V까지를 계측구간으로 결정하였는데 이는 전체 계측수의 약 50%를 차지하며 이 구간의 계측수로도 분당 계측수가 신뢰측정수인⁽⁶⁾ 10,000개 이상이 나오기 때문에 선정하였다.

2.6. Poly-ethylene 두께변화에 따른 측정값 비교실험

폴리에틸렌은 카드늄에 의하여 열중성자가 제거된 후 속중성자를 감속시켜 열중성자화하는 역할을 한다. 이는 He-3 중성자 검출기가 열중성자 검출효율이 높기 때문인데 폴리에틸렌이 얼마의 두께를 가질 때 속중성자를 완전히 열중성자화하면서도 계측상의 신뢰계측값을(분당 10,000개 이상) 가지는가가 중요하다. 또한 RI계기개발에 있어서 폴리에틸렌의 두께에 따른 측정값의 실험은 폴리에틸렌의 단가가 비싸므로 측정신뢰값을 가지는 범위내에서는 최대한 두께를 얇게 설계되어야만 한다.

아래 <그림 7>, <그림 8>, <그림 9>는 각각 중성자 검출기개수가 3개, 2개, 1개일때 각 함수율에 따른 측정수이다. 그림에서 보듯이 폴리에틸렌의 두께가 7cm일때와 8cm일때의 측정수가 별다른 영향이 없다. (약 분당 200개 이하) 따라서 8cm보다는 보다 경제적인 7cm두께의 폴리에틸렌 속중성자감속제를 사용하여도 무방할것으로 보인다.

<그림 9>에서 보듯이 중성자의 계측수가 7cm, 8cm, 6cm의 차이를 보인다. 이는 폴리에틸렌의 두께가 8cm이상에서는 열중성자화된 모든 중성자들이 검출기에 일부만이 도달하고 일부는 도달하기전에 충분히 열중성자화되어 검출기에 도달하지 못하게 된다. 또한 폴리에틸렌의 두께증가에 따라 중성자 누출면적이 증가하여 8cm의 폴리에틸렌두께에서 계측수가 7cm의 폴리에틸렌에서의 계측수보다 적게된다. 이는 MCNP Code로 검증되어졌다.⁽⁷⁾

3. 결론

위에서 나온 실험의 결과는 다음과 같은 시제품 함수량측정용 RI계기의 설계를 제안할 수 있다. 이 결과는 이미 MCNP Code로 계산된 결과와 근사한 경향을 보이고 있다.

- 중성자 선원세기
 - Cf-252, 25 μ Ci 이상
- 중성자 검출기 및 검출기개수
 - He-3검출기 2개
- 열중성자 흡수재 및 두께
 - Cd, 1mm두께
- 중성자 감속재
 - 폴리에틸렌 7cm 이하

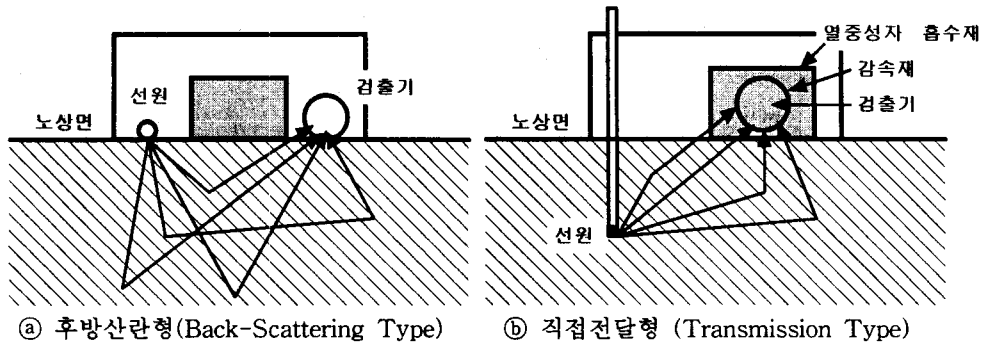
그리고 향후 연구과제는 위 결과를 바탕으로 하여 함수량 산출 교정식의 타당성평가를 하고 밀도측정 실험실용 RI계기를 구성하여 함수량측정 실험과 같은 공시체제작 및 실험을 통하여 감마검출기개수와 밀도 산출 교정식의 타당성평가를 하고자한다. 또한 함수량, 감마 측정 RI계기의 흙에대한 측정범위(영향범위)와 방사선감쇄 등을 교정할 수 있는 표준체선정 및 실험등도 향후 연구과제이다.

▶ 감사의 글

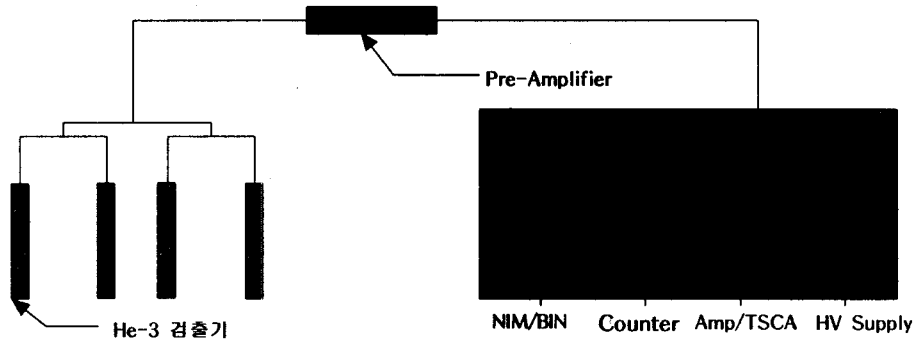
-- 본 연구는 건설교통기술연구개발 사업비의 지원으로 수행하고 있습니다. --

4. 참고문헌

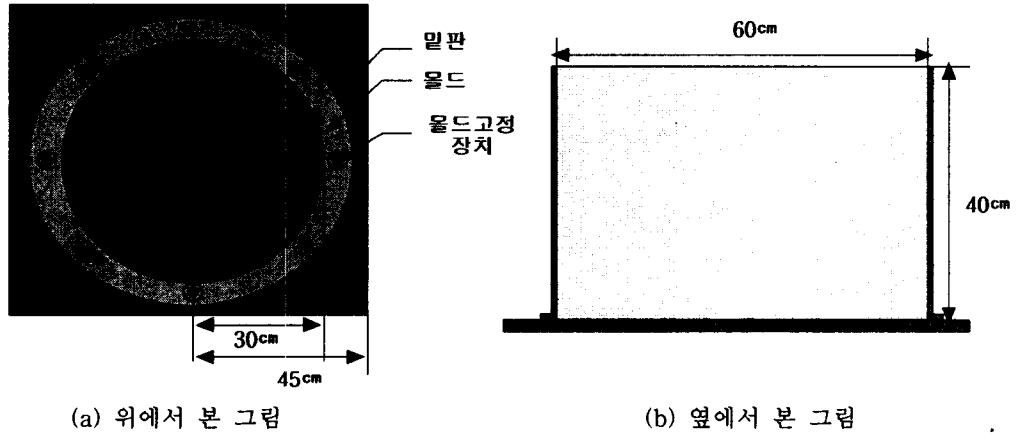
1. 공업진흥청 "흙의 함수량 시험방법," 공업진흥청, KS F-2306,2312 1995
2. AASHTO T238-86, "Standard Method of Test for Density of Soil and Soil-Aggregate in Place by Nucleat Methods (Shallow Depth) (R 1993) (ASTM D2922-71 (1981))."
3. AASHTO T238-91, "Standard Method of Test for Moisture Content of Soil and Soil-Aggregate in Place by Nucleat Methods (Shallow Depth) (ASTM D3017-72 (1978))."
4. 한국과학재단, "도로건설 및 포장 유지관리시스템 개발 - 도로구조체를 지지하는 노상 및 노체의 성토시공관리를 위한 시스템에 관한 연구(I)," 한국건설기술연구원, 1990
5. 과학기술처, "아스팔트 및 콘크리트 포장구조체를 지지하는 노상 및 노체의 성토시공관리를 위한 시스템 개발," 한국건설기술연구원, 1991
6. Glenn F. Knoll, "Radiation Detection and Mearsurment," JOHN WILEY & SONS, pp.80~94, 1989
7. 최원철외 5명, "MCNP코드를 이용한 수분 측정계기의 기하학적 배치," '96춘계학술발표회는 문집, 한국원자력학회, 1996



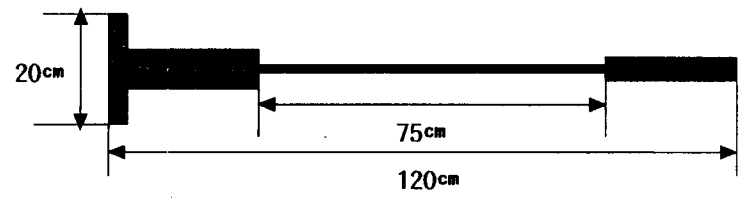
<그림 1> 표면측정형의 측정형태



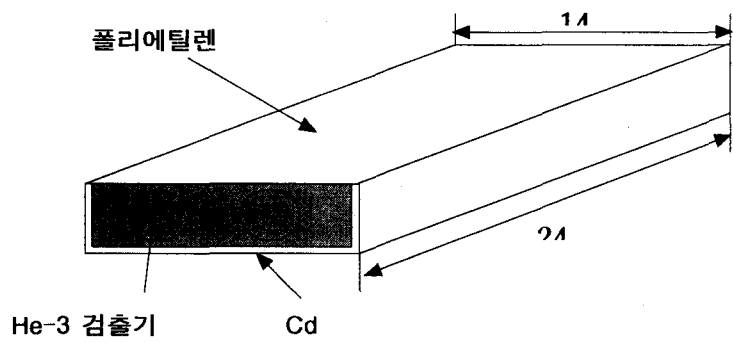
<그림 2> 실험실용 RI계기의 구성도



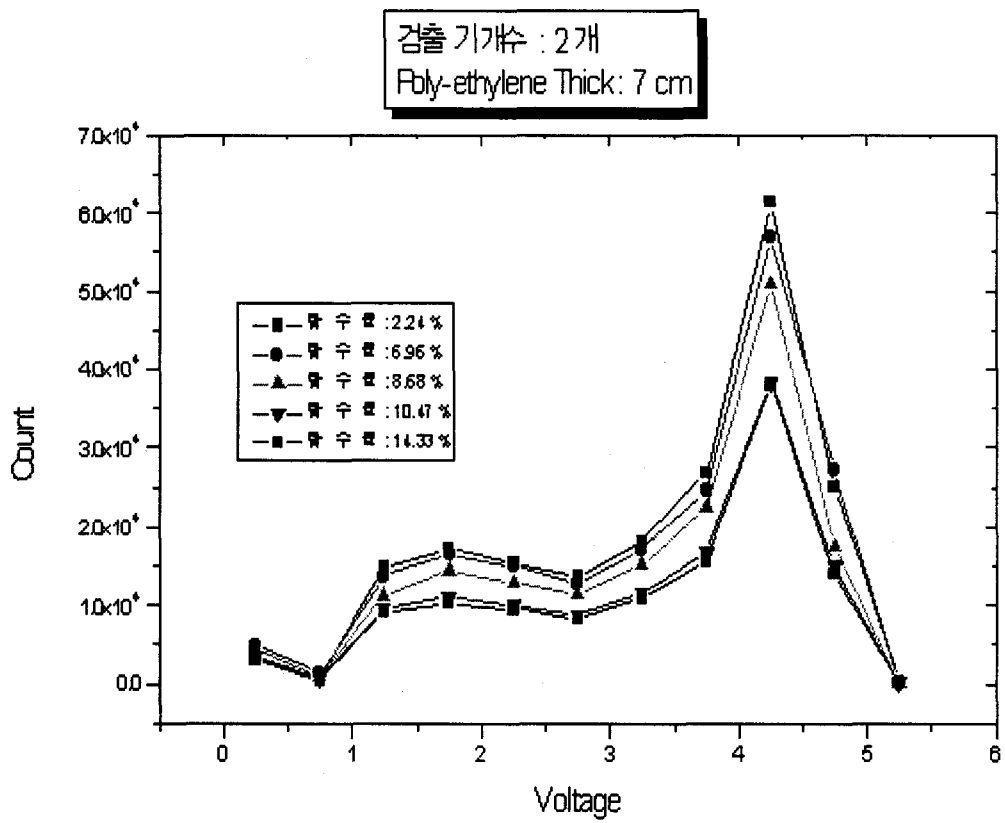
<그림 3> 공시체 제작용 몰드



<그림 4> 공시체 다짐용 램머 (램머무게 4.5kg)

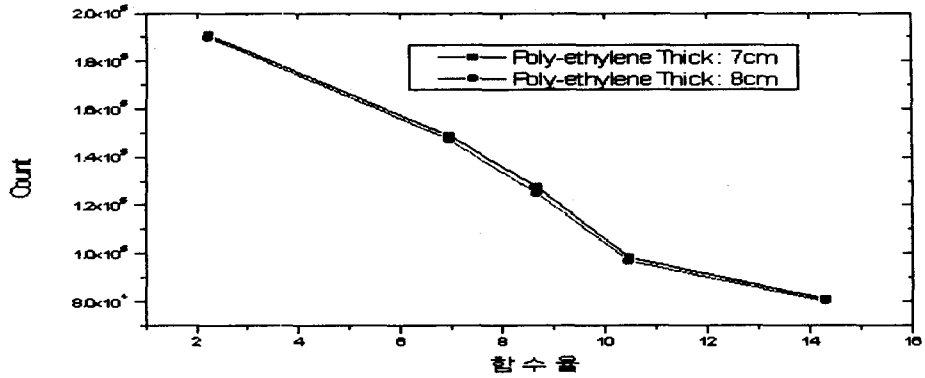


<그림 5> 중성자 검출기, 열중성자 흡수재, 감속재



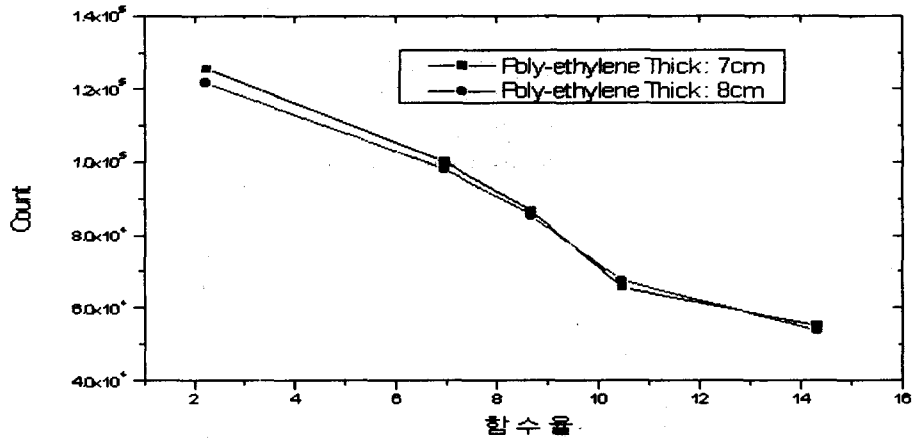
<그림 6> 함수율변화에 따른 각 에너지단 계별 중성자 측정개수

중성자 검출기의 개수가 3개



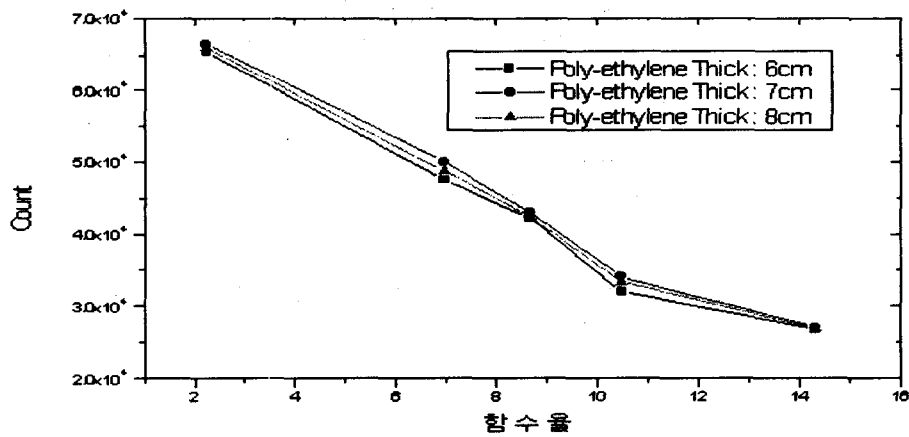
<그림 7> 중성자 검출기개수가 3개일 때 각 함수율에 따른 측정수

중성자 검출기의 개수가 2개



<그림 8> 중성자 검출기개수가 2개일때 각 함수율에 따른 측정수

중성자 검출기의 개수가 1개



<그림 9> 중성자 검출기개수가 1개일때 각 함수율에 따른 측정수